

*О. Е. Безбородова, О. Н. Бодин, В. В. Шерстнев,
А. Н. Спиркин, В. О. Трилисский*

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ И УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ ТЕХНОСФЕРЫ

О. Е. Bezborodova, O. N. Bodin, V. V. Sherstnev, A. N. Spirkin, V. O. Trilisskiy

PRINCIPLES OF CREATING AN INTELLECTUAL INFORMATION MEASURING AND MANAGING SYSTEM OF COMPLEX MONITORING OF THE CONDITION OF TERRITORIAL TECHNOSPHERE

А н н о т а ц и я. Актуальность и цели. Анализ современных концепций экологического мониторинга (ЭМ) показал недостаточность традиционного подхода для обеспечения экологической безопасности территории. Существующие системы ЭМ не выполняют функцию анализа и управления качеством окружающей среды (ОС) и не интегрированы в единую сеть, поэтому проводят локальные измерения, для анализа и оценки которых необходимы дополнительное время, специалисты, административные ресурсы. Поэтому необходима система комплексного мониторинга (КМ) состояния территориальной техносферы (ТТ), выполненная на основе информационно-измерительной и управляющей системы (ИИиУС). Она предоставляет широкие возможности не только для проведения мониторинга ОС, но и выполняет функции диагностики ее качества, идентификации источников и факторов воздействия, сбора, анализа и представления информации в форме перечня мероприятий для лица, принимающего решения (ЛПР), чтобы сформировать управляющее воздействие. Целью работы является разработка функциональной схемы ИИиУС КМ состояния ТТ, реализующей все перечисленные функции. **Материалы и методы.** Для ее достижения сформулированы и обоснованы принципы построения ИИиУС КМ состояния ТТ, являющиеся основой концепции КМ состояния ТТ: аксиоматически-дедуктивный, интеллектуальности, свертывания гетерогенной информации (СПИ), моделирования и визуализации, необходимости и возможности коррекции (НиВК). **Результаты и выводы.** Результатом работы являются совокупность принципов и реализованная на их основе ИИиУС КМ состояния ТТ, которая может быть использована в качестве фундаментальной основы для создания территориальной системы комплексного мониторинга.

A b s t r a c t. Background. The analysis of modern concepts of environmental monitoring (EM) showed the insufficiency of the traditional approach to ensure the environmental safety of the territory. Existing EM systems do not perform the function of analysis and management of environmental quality (EQ) and are not integrated into a single network, so they conduct local measurements, for the analysis and evaluation of which additional time, specialists, administrative resources are needed. Therefore, a system of integrated monitoring (KM) of the state of the territorial technosphere (TT), made on the basis of information-measuring and control

system (IMCS). It provides ample opportunities not only for monitoring the EQ, but also performs the functions of diagnostics of its quality, identification of sources and factors of influence, collection, analysis and presentation of information in the form of a list of activities for the decision-maker to form a control action. The aim of the work is to develop a functional scheme of the IMCS KM state of the TT implementing all these functions. **Materials and methods.** To achieve it, the principles of construction of the IMCS KM state of TT, which are the basis of the concept of KM state of TT: axiomatic-deductive, intelligence, coagulation of heterogeneous information, modeling and visualization, the need and possibility of correction are formulated and justified. **Results and conclusions.** The result of the work is a set of principles and implemented on their basis IMCS KM state of TT, which can be used as a fundamental basis for the creation of a territorial system of integrated monitoring.

К л ю ч е в ы е с л о в а: информационно-измерительная и управляющая система, комплексный мониторинг, территориальная техносфера, принципы.

K e y w o r d s: information-measuring and control system, comprehensive monitoring, territorial technosphere, principles.

Введение

Происходящие в современном мире чрезвычайные ситуации (ЧС) и связанные с ними угрозы всему сообществу породили проблему международной и национальной экологической безопасности. С точки зрения ведущих мировых экспертов по безопасности определение безопасности в его традиционном понимании (военная, политическая и экономическая угрозы национальному суверенитету) должно быть расширено за счет включения в него экологической составляющей. Главное в обеспечении экологической безопасности – предотвращение ЧС экологического характера как условие выживания человечества. Это требование устанавливает прямую связь между контролем качества ОС (мониторингом) и безопасностью человечества и возлагает на каждое государство обязанность осуществлять деятельность так, чтобы исключить экологические угрозы на всех уровнях функционирования.

КМ состояния ОС должен быть ориентирован на решение актуальных общечеловеческих экологических проблем, связанных с изменением качества ОС в результате функционирования объектов техносферы и вызываемых ими ЧС. Современный КМ состояния ТТ должен базироваться на достижениях биологических, физических, химических и технических наук, быть компьютеризированным и автоматизированным и осуществляться на основе ИИиУС.

Актуальность

Впервые идеи контроля за состоянием ОС, измененной техносферой, были озвучены на конференции ООН по проблемам окружающей среды в 1972 г. в Стокгольме. Группа ученых, возглавляемая профессором Гильбертом Уайтом [1], предложила проводить целенаправленные наблюдения за изменением состояния ОС, которые получили название «Экономический мониторинг». В Советском Союзе исследование техногенного влияния на ОС проводили группы ученых под руководством И. П. Герасимова и Ю. А. Израэля [2].

Общая теория мониторинга ОС, обоснование и определение основных принципов и связанных с ними понятий изложены в основополагающих работах И. П. Герасимова, Ю. А. Израэля, Ф. Я. Ровинского, В. Е. Соколова и других исследователей. У каждой из этих групп была своя концепция ЭМ (табл. 1) [3–8].

Постановка проблемы

Практика показала, что система ЭМ, предложенная Ю. А. Израэлем [5,6] и имеющая своей целью проведение эффективного контроля за поступлением загрязняющих веществ и составлением на основе многолетних наблюдений эффективного прогноза, является наиболее перспективной. И именно по такой схеме (рис. 1) созданы системы ЭМ различного уровня у нас в стране.

Таблица 1

Автор концепции	Содержание мониторинга	Предмет исследования	Уровни (этапы) изучения	Основная функция
И. П. Герасимов (1975, 1982 гг.) [3, 4]	Наблюдения, контроль	Совокупность природных явлений, подверженная естественным и антропогенным динамическим изменениям	Биоэкологический (санитарно-гигиенический)	Получение оперативной информации о состоянии ОС и ее влиянии на здоровье человека
			Геоэкологический (геосистемный)	Наблюдение за изменением состояния экосистем, их преобразованием из природных в природно-антропогенные
			Биосферный (глобальный)	Наблюдение за глобально-фоновыми изменениями на планете
Ю. А. Израэль (1977, 1984 гг.) [5, 6]	Наблюдения, оценка, прогноз	Антропогенные изменения биосферы	Наблюдения	Определить источники воздействия, а также причины изменений в биосфере
			Оценка фактического состояния	Оценить фактическое состояние биосферы
			Прогноз изменения биосферы	Выявить тенденции изменения, дать прогноз
			Оценка прогноза	Оценить будущее состояние биосферы
А. Г. Емельянов (1984 г.) [7]	Наблюдения	Компоненты ОС	Гидрометеорологический	Учет связей между отраслевыми звеньями системы мониторинга; функциональное подчинение геосистемному мониторингу других видов мониторинга
			Гидрогеологический	
			Геохимический	
			Биологический	
В. К. Епишин и В. Т. Трофимов (1985 г.) [8]	Наблюдения, оценка, прогноз, управление	Природные и геологические среды	Контроль и управление	Управление качеством ОС за счет систем инженерной защиты

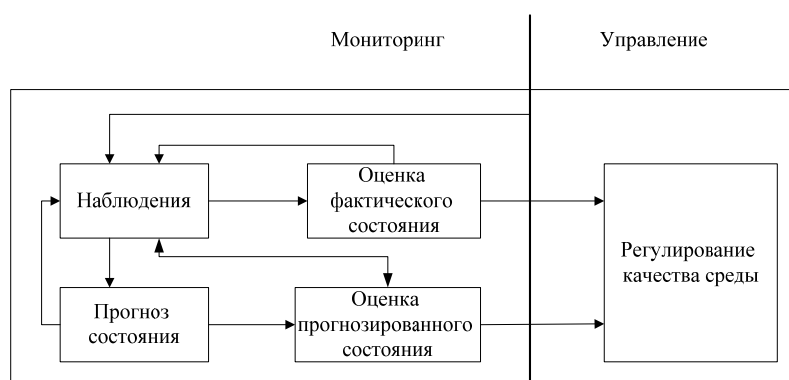


Рис. 1. Блок-схема системы экологического мониторинга (по Ю. А. Израэлю, 1984)

Приведенная на рис. 1 система ЭМ не включает управление (регулирование) качеством ОС, поэтому в ней не реализованы функции автоматизации контроля параметров качества ОС, применения полученной информации для принятия решений, оперативного регулирования качества ОС. Очевидно, что для повышения эффективности управления качеством ОС необходима ИИиУС КМ состояния ТТ.

Разработка концепции КМ состояния ТТ направлена на:

– преобразование существующих систем ЭМ в ИИиУС КМ состояния ТТ различных уровней;

- определение принципов ее построения с использованием современных средств и технологий сбора, обработки и представления информации;
- осуществление мероприятий, направленных на интеграцию имеющихся информационных ресурсов в единую ИИиУС КМ состояния ТТ, включающую базу данных о состоянии ОС;
- повышение уровня и эффективности использования результатов КМ состояния ТТ для принятия управленческих решений.

Теория

Для перехода на качественно новый уровень ЭМ необходимо развитие теоретических положений, наличие математических моделей, описывающих функционирование ИИиУС КМ и наглядное представление состояния ТТ.

Комплексный мониторинг – это постоянно действующая система сбора, обработки и использования информации об изменении факторов и условий устойчивости, состава, свойств, структуры и функционирования объектов различного происхождения при различных техногенных воздействиях, имеющая контрольные, прогнозно-диагностические и управленческие цели.

Для сближения классического (по Ю. А. Израэлю) и предлагаемого подходов авторы используют предложенный в работе [9] метод. Согласно выводам американского ученого Т. Куна теория остается принятой научным сообществом до тех пор, пока не подвергается сомнению основная ее идея, по образцу которой организуется исследовательская практика ученых в данной области знаний в определенный исторический период. Согласно парадигме Т. Куна, примененной к ЭМ, концепция мониторинга ОС развивается по схеме, приведенной на рис. 2.

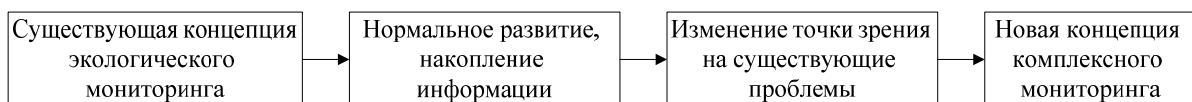


Рис. 2. Парадигма Т. Куна, примененная к ЭМ

По мнению авторов, КМ состояния ТТ должен основываться на принципах: аксиоматически дедуктивном, интеллектуальности, свертывания гетерогенной информации (СГИ), моделирования и визуализации, необходимости и возможности коррекции (НиБК).

Аксиоматически дедуктивный принцип. КМ состояния ТТ находится на стыке дисциплин, и междисциплинарный характер накладывает свой отпечаток на аксиоматику, лежащую в основе функционирования предлагаемой ИИиУС. Аксиомы постулируются в экологии, теории систем, измерительной технике и информатике. Суть аксиоматически дедуктивного принципа заключается в декомпозиции ТТ на однородные в функциональном смысле объекты, анализ и математическое описание которых ограничиваются только явлениями, происходящими в этих объектах, и не представляет существенных затруднений.

Принцип Ле Шателье – Брауна применим к ТТ как термодинамической системе, находящейся в неравновесном состоянии и выводимой из состояния равновесия не только внешним воздействием, но и под влиянием изменений, возникающих в самой техносфере [10].

При рассмотрении ТТ как термодинамической системы ее состояние будет определяться состояниями объектов территориальной техносферы (ОТТ), входящих в ее состав: техногеника, окружающая среда, социум (рис. 3).

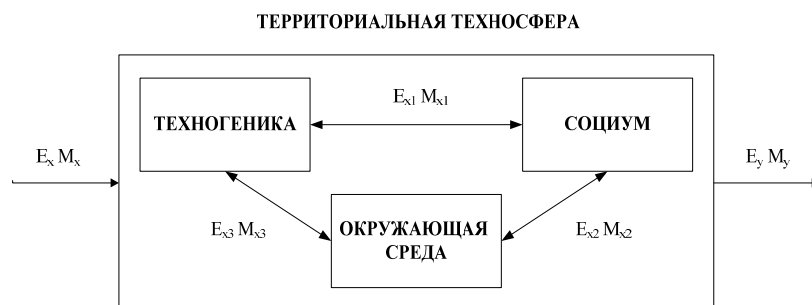


Рис. 3. Функционирование территориальной техносферы: $E_x M_x$ – входной термодинамический поток ТТ как сумма материальных и энергетических составляющих, объединяющих ОТТ; $E_{x1} M_{x1}$, $E_{x2} M_{x2}$, $E_{x3} M_{x3}$ – термодинамические потоки между ОТТ; $E_y M_y$ – выходной термодинамический поток ТТ

Целью использования модели ТТ является разработка управляющего воздействия для каждого ОТТ, входящего в ее состав, которое позволяет сохранять динамическое равновесие внутри ТТ с приоритетным обеспечением экологической безопасности. Поскольку ТТ имеет три составляющие, то в результате декомпозиции сложного объекта образуются однородные в функциональном смысле объекты: техногенная, социум и окружающая среда (биосфера), т.е. все ОТТ находятся под воздействием термодинамических потоков, что и составляет основу функционирования ТТ.

На рис. 3 ТТ представлена как открытая система, обменивающаяся с окружающим ее пространством (другими ТТ) веществом (M_x) и энергией (E_x). Изменение энтропии в ТТ может происходить либо за счет процессов обмена с внешней средой ($d_e S$), либо за счет возникновения энтропии в самой ТТ вследствие внутренних необратимых изменений ($d_i S$).

Общее изменение энтропии ТТ (dS):

$$dS = d_e S + d_i S.$$

В этом состоит исходное положение термодинамики необратимых процессов. Если внутри ТТ протекают обратимые изменения, то они не сопровождаются возникновением энтропии и $d_i S = 0$. В случае необратимых изменений $d_i S > 0$.

Если в ОТТ одновременно протекают различные необратимые процессы, то величина $d_i S > 0$ описывает приращение энтропии, являющееся следствием взаимодействия этих необратимых процессов друг с другом.

Скорость изменения энтропии ТТ dS/dt равна сумме скорости обмена энтропией между ТТ и окружающим пространством и скорости возникновения энтропии внутри ТТ (термодинамический постулат Пригожина И. Р.):

$$dS/dt = d_e S/dt + d_i S/dt.$$

По определению $d_i S/dt > 0$, но если внутренние процессы в ТТ будут обратимыми и равновесными, то $d_i S/dt = 0$, а слагаемое $d_e S/dt$ может быть как положительным, так и отрицательным. Приведенное выше уравнение Пригожина И. Р. описывает энергетические процессы, происходящие в ТТ. Применение этого принципа к процессам в ТТ позволяет проводить прогнозирование ситуации, основываясь на ее описании как саморегулирующейся динамической системы.

Принцип интеллектуальности. Поведение любой системы ЭМ определяется целью ее функционирования, которая предъявляет совокупность требований к структуре и конструктивным возможностям такой системы. Эти возможности реализуются при организации базового алгоритма функционирования системы ЭМ. Цель функционирования системы ЭМ либо закладывается (привносится) изначально извне, при ее создании, и не изменяется в течение всего времени ее эксплуатации, либо может формироваться в самой системе ЭМ в зависимости от ее структуры. Привносимые цели функционирования присущи классическим системам ЭМ и чаще всего реализуются через конструктивную организацию системы ЭМ, а также за счет меняющегося программного управления.

Для ИИиУС КМ состояния ТТ характерно интеллектуальное поведение (по современным воззрениям это высший тип поведения), отличающееся тем, что ИИиУС КМ состояния ТТ самостоятельно определяет будущее целевое состояние совокупности «ИИиУС + ОТТ» и, используя собственные возможности, движется к целевому состоянию из текущего состояния.

Иначе говоря, если традиционное поведение системы ЭМ – это фиксация параметров создавшейся ситуации, то интеллектуальное поведение ИИиУС КМ состояния ТТ – это организация новой целевой ситуации на основе анализа, прогнозирования и планирования, исходя из текущей ситуации и имеющихся возможностей самой ИИиУС. Интеллектуальное поведение ИИиУС КМ состояния ТТ реализуется использованием мультиагентных технологий.

Принцип свертывания гетерогенной информации (СГИ) многопараметрического объекта (МПО). СГИ – это совокупность операций аналитико-синтетической переработки измерительной информации, преследующих цель выразить содержание исходной информации в более краткой форме при сохранении или некотором уменьшении его информативности.

Оно дает параметр, изменение которого указывает на увеличение или уменьшение величины, характеризующей совокупность значимых свойств МПО.

Методология СГИ опирается на научное и интуитивное определение понятия качества МПО. Результатом СГИ является коэффициент, который фиксирует изменение качества МПО, а не абсолютное значение уровня качества. СГИ предполагает процедуру «нормировки» результатов измерений, т.е. их корректировку в соответствии с некоторыми математическими функциями преобразования, с целью сделать более удобными для сравнения. По таким коэффициентам отслеживают изменения качества МПО от одной временной и пространственной точки к другой.

Количественно коэффициент СГИ рассчитывается по формуле

$$d_i = (C_i - F_i) / \text{ПДУ}_i,$$

где C_i – измеренное значение параметра; i – номер параметра; ПДУ_i – предельно допустимый уровень (ПДУ) значения параметра; F_i – фоновое значение параметра.

В этом подходе легко построить комплексные коэффициенты СГИ:

$$\delta_i^{\text{комп}} = \sum_{j=1}^n p_j \cdot \delta_i,$$

где p_j – весовые коэффициенты для каждого конкретного коэффициента СГИ, определяемые, например, экспертной оценкой, причем

$$\sum_{j=1}^n p_j = 1.$$

Величина $\delta_i^{\text{комп}}$ является мерой изменения качества МПО, и если она увеличивается, то качество МПО ухудшается, и наоборот.

Для проведения дальнейшей оценки необходима шкала [11], связывающая количественное и качественное содержание коэффициента СГИ с целью последующей передачи полученной информации в систему принятия решений. Шкала является средством адекватного сопоставления и определения численных значений отдельных свойств и качеств различных объектов.

Для оценки состояния МПО предпочтительной является шкала порядков с фиксированными реперными (опорными) точками, с помощью которых классифицируются значения комплексных коэффициентов СГИ. Достоинством шкалы порядка является то, что с ее помощью инструментально не измеряемые величины (комплексных коэффициентов СГИ) можно оценить и качественно, и количественно.

Принцип моделирования и визуализации. Моделирование как метод научного познания является наилучшим способом изучения ТТ. Оно основывается на создании моделей, отражающих все необходимые для исследования свойства исследуемых объектов. Основная сложность моделирования заключается в обеспечении достоверности математических расчетов, так как математическая модель должна быть точно приближена к реальному поведению исследуемого объекта.

Помимо этого, результаты моделирования необходимо представить в визуальном виде, удобном для зрительного восприятия. Визуализация – способ представления информации в виде структурных схем, карт, 3D-моделей и т.д. – является важным этапом в моделировании. Ее главной функцией является обеспечение удобного представления результатов моделирования для зрительного наблюдения и анализа. Благодаря ей лицо, принимающее решение (ЛПР), может быстро обнаружить особенности, выявить закономерности и аномалии в больших объемах информации. Компьютерная графика позволяет отобразить результаты моделирования в удобной для восприятия ЛПР форме.

Принцип необходимости и возможности коррекции. Сущность принципа заключается в выборе порядка шкалы, дающего временную возможность ЛПР при необходимости успеть осуществить корректирующие действия, направленные на восстановление равновесного состояния МПО. Учитывая, что для качественной оценки ТТ как МПО используются зна-

чения ПДУ, их необходимо пронормировать так же, как и результаты измерений, и сформировать диапазоны значений, разделенные реперными точками.

Если при оценке в традиционной системе ЭМ существует только одна реперная точка, соответствующая значению ПДУ, то с учетом необходимости и возможности коррекции в каждом из диапазонов допустимых значений необходимо установить еще несколько реперных точек, устанавливающих предупредительные границы, позволяющие заранее реагировать на изменение значений комплексных коэффициентов СГИ и вовремя осуществить корректирующие действия.

Особенностью описанных выше принципов является совокупность свойств, характеризующих их как основу научной концепции. Совокупность и содержание принципов КМ состояния ТТ обусловлены структурой, функциями и сферой применения реализующей его ИИиУС. Это значит, что ИИиУС КМ состояния ТТ функционирует не произвольно, а в соответствии с объективными требованиями, которые отражаются в системе нормативных правовых актов и являются ее функциональной основой. Принципы любой концепции нельзя рассматривать отдельно от условий, структуры и содержания ИИиУС, которую они описывают. Обобщая вышесказанное, можно выделить следующие свойства принципов КМ состояния ТТ:

- научность – использование современных достижений науки при построении ИИиУС КМ состояния ТТ и обеспечения их функционирования;
- гибкость – адаптация ИИиУС к изменению целей, стратегий и тактики управления ТТ;
- эффективность – оптимизация затрат на формирование и функционирование ИИиУС КМ состояния ТТ;
- системность – формирование совокупности измеряемых параметров с учетом всех воздействий, оказывающих влияние на ОТТ;
- соответствие – совместимость системы и методологии КМ состояния ТТ с административной системой региона или предприятия и технологиями принятия управленческих решений.

Практическая реализация

На рис. 4 приведена функциональная схема ИИиУС КМ состояния ТТ, состоящая из подсистем диагностики (прогнозирования) 1, сбора информации 2, идентификации 3, поддержки принятия решения 4 и накопления, хранения и управления информацией 5.

Подсистема 1 является центральной в ИИиУС КМ состояния ТТ, результатом ее работы являются данные о зонах возможного опасного загрязнения ОТТ по какому-либо загрязняющему веществу или территории распространения. Опасное загрязнение территории в данном случае рассматривается как доля, не превышающая 70 % ПДУ хотя бы по одному загрязняющему веществу, и является уровнем активации подсистемы (2).

Для работы подсистемы 1 необходимы данные о параметрах микроклимата (скорость ветра, его направление и температура ОС в данный момент времени). Эти данные подсистема 1 получает от подсистемы 2 через подсистему 5.

После работы подсистемы 2 определяется соответствие прогнозируемой ситуации реальному уровню воздействия (при наличии хотя бы одной зоны с вычисленным значением уровней воздействия 0,7 ПДК и более хотя бы по одному параметру), получаемому в результате проводимых измерений с помощью мобильной лаборатории. При уровне воздействия выше предполагаемого (вычисленного) происходит включение работы подсистемы 3.

Особенность подсистемы 3 заключается в том, что идентификация параметров воздействия на ОС происходит дистанционно (вне санитарно-защитной зоны предприятия). Определение параметров осуществляется для всех источников, влияющих на зону с опасным уровнем воздействия.

Задача подсистемы 4 – сформировать список возможных решений с их обоснованием и определить наименьшее суммарное ограничение параметров функционирования ОТТ с учетом всей совокупности воздействий. В основе работы данной подсистемы 4 лежит метод определения необходимости корректировки уровня воздействий, на базе которого определяется степень требуемой корректировки и формируются возможные решения по длительности и видам применяемых технологических режимов на ОТТ со стационарными источниками, которые позволят снизить воздействия на ОС. Также в долгосрочной перспективе определяется возможность снижения воздействий за счет проведения плановых мероприятий.

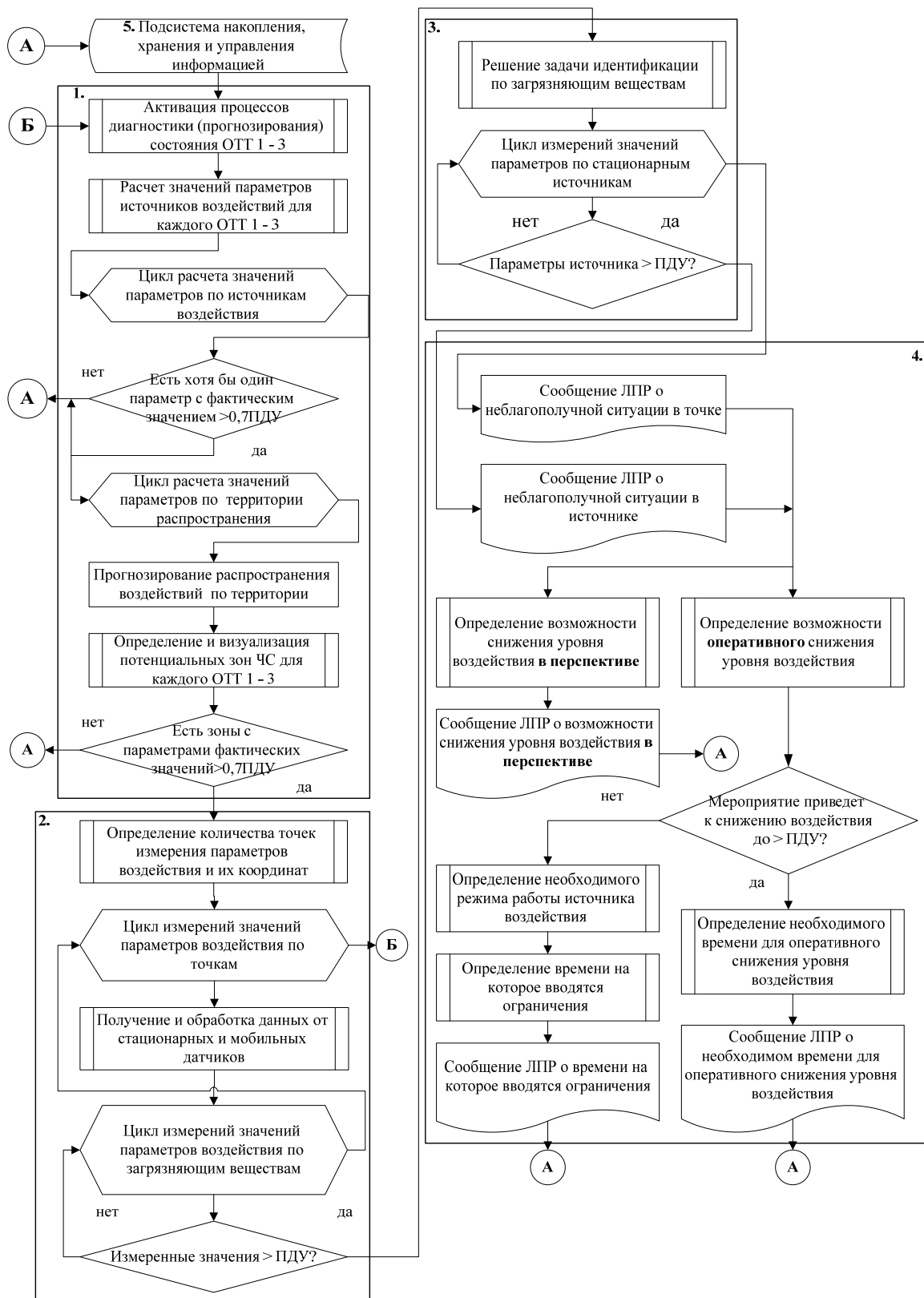


Рис. 4. Функциональная схема ИИиУС КМ состояния ТТ

Заключение

Существующая система ЭМ выполняет только измерения концентраций различных загрязняющих веществ и не содержит механизм оперативного управления качеством ОС. Кроме того, существует ряд проблем, связанных с техническим оборудованием станций мониторин-

га, их автономностью и недостаточным обеспечением аналитических лабораторий современными средствами измерений.

С учетом актуальности проблемы экологической безопасности указанные недостатки свидетельствуют о необходимости развития и модернизации системы ЭМ в России, внедрения автоматизированных систем непрерывного измерения и анализа уровней воздействий на ОС, разработки новых и пересмотра существующих методов измерения, а также совершенствования средств обработки, хранения и передачи информации.

Наиболее перспективными являются ИИиУС КМ состояния ТТ, основанные на совместном применении расчетных (прогностических) и инструментальных методов оценки состояния ТТ, а в качестве оценочных критериев используются не только нормативные правовые акты, но и комплексные параметры, основанные на СГИ и позволяющие оперативно принимать управляющие решения с использованием мультиагентных технологий.

Библиографический список

1. *Kates, R. W. Gilbert F. White, 1911–2006, A Biographical Memoir* / R. W. Kates. – Washington, 2011. – 25 p.
2. *Snytko, V. A. Environmental monitoring system in the scientific heritage of academics I. P. Gerasimov and Yu. A. Israel* / V. A. Snytko, A. V. Sobisevich // *Environmental status indication: theory, practice, education : Proceedings of the fifth international scientific and practical conference (Moscow, 30 November – 3 December 2017)*. – Moscow, 2017.
3. *Gerasimov, I. P. Scientific basis of modern environmental monitoring* / I. P. Gerasimov // *Izvestiya USSR Academy of Sciences. Geography series*. – 1975. – № 3. – P. 13–25.
4. *Gerasimov, I. P. Principles and methods of geosystem monitoring* / I. P. Gerasimov // *Izvestiya USSR Academy of Sciences. Geography series*. – 1982. – № 2. – P. 5–11.
5. *Israel, Yu. A. Global observing system. Forecast and assessment of environmental changes. Monitoring basics* / Yu. A. Israel // *Meteorology and hydrology*. – 1974. – № 7. – P. 3–8.
6. *Israel, Yu. A. About the program of complex background monitoring of the state of the environment* / Yu. A. Israel, L. M. Filippova, F. Ya. Rovinsky // *Meteorology and hydrology*. – 1978. – № 9. – P. 5–11.
7. *Emelyanov, A. G. Comprehensive geo-ecological monitoring : studies' benefit* / A. G. Emelyanov. – Tver : TGU, 1994. – 88 p.
8. *Trofimov, V. T. Let anything – content, structure, role of engineering Geology in its implementation* / V. T. Trofimov, K. V. Epishin // *Engineering Geology and geological environment : report of Soviet geologists at the XXVIII session of the International geological conference*. – Moscow : VSEGINGEO, 1989. – P. 71–78.
9. *Kuhn, T. Structure of scientific revolutions* / T. Kuhn. – Moscow : Science, 1975
10. *Tarko, A. M. Stability of biosphere processes and Le Chatelier's principle* / A. M. Tarko // *Izvestiya USSR Academy of Sciences*. – 1995. – Vol. 343, № 3. – P. 393–395.
11. *Ecological indicator values and methods of analysis of ecological diversity of plants : monograph* / L. A. Zhukova, Y. A. Dorogova, N. V. Turmuhametova, T. A. Polyanskaya, M. N. Gavrilova ; under editorship of L. A. Zhukova ; Mari State Univ. – Yoshkar-Ola, 2010. – 368 p.

References

1. *Kates R. W. Gilbert F. White, 1911–2006, A Biographical Memoir*. Washington, 2011, 25 p.
2. *Snytko V. A., Sobisevich A. V. Environmental status indication: theory, practice, education: Proceedings of the fifth international scientific and practical conference (Moscow, 30 November – 3 December 2017)*. Moscow, 2017.
3. *Gerasimov I. P. Izvestiya USSR Academy of Sciences. Geography series*. 1975, no. 3, pp. 13–25.
4. *Gerasimov I. P. Izvestiya USSR Academy of Sciences. Geography series*. 1982, no. 2, pp. 5–11.
5. *Israel Yu. A. Meteorology and hydrology*. 1974, no. 7, pp. 3–8.
6. *Israel Yu. A., Filippova L. M., Rovinsky F. Ya. Meteorology and hydrology*. 1978, no. 9, pp. 5–11.
7. *Emelyanov A. G. Comprehensive geoecological monitoring: studies' benefit*. Tver: TGU, 1994, 88 p.
8. *Trofimov V. T., Epishin K. V. Engineering Geology and geological environment: report of Soviet geologists at the XXVIII session of the International geological conference*. Moscow: VSEGINGEO, 1989, pp. 71–78.
9. *Kuhn T. Structure of scientific revolutions*. Moscow: Science, 1975
10. *Tarko A. M. Izvestiya USSR Academy of Sciences*. 1995, vol. 343, no. 3, pp. 393–395.
11. *Zhukova L. A., Dorogova Y. A., Turmuhametova N. V., Polyanskaya T. A., Gavrilova M. N. Ecological indicator values and methods of analysis of ecological diversity of plants : monograph*. Yoshkar-Ola, 2010, 368 p.

Безбородова Оксана Евгеньевна

кандидат технических наук, доцент,
кафедра техносферной безопасности,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: iit@pnzgu.ru

Bezborodova Oksana Evgenevna

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of technosphere safety,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Бодин Олег Николаевич

доктор технических наук, профессор,
кафедра информационно-измерительной техники
и метрологии,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: iit@pnzgu.ru

Bodin Oleg Nikolaevich

doctor of technical sciences, professor,
sub-department of information-measuring
equipment and metrology,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Шерстнев Владислав Вадимович

аспирант,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: iit@pnzgu.ru

Sherstnev Vladislav Vadimovich

postgraduate student,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Спиркин Андрей Николаевич

аспирант,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: iit@pnzgu.ru

Spirkin Andrei Nikolaevich

postgraduate student,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Трилисский Владислав Олегович

магистрант,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: iit@pnzgu.ru

Trilisskiy Vladislav Olegovich

master degree student,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Образец цитирования:

Принципы построения интеллектуальной информационно-измерительной и управляющей системы комплексного мониторинга состояния территориальной техносферы / О. Е. Безбородова, О. Н. Бодин, В. В. Шерстнев, А. Н. Спиркин, В. О. Трилисский // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2019. – № 3 (29). – С. 23–32. – DOI 10.21685/2307-5538-2019-3-3.